

Волков С. Л.

## ЕМПІРИЧНІ РОЗПОДІЛИ СТАТИСТИК КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ЗАХИЩЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З CDMA

*Для ряду статистик, використовуваних при перевірці гіпотез щодо спостережуваних багатовимірних величин, показано, що у разі законів, які відрізняються від багатовимірного нормального закону в широких межах, значущої зміни граничних розподілів статистик не відбувається, а їх емпіричні розподіли описуються граничними законами, отриманими в класичному кореляційному аналізі в припущенні про нормальність спостережуваного вектора.*

**Ключові слова:** розподіл, статистика, кореляційний аналіз, система, вимірювання, сигнатура, синтез.

### 1. Вступ

Основою функціонування радіосистем з шумоподібними сигналами, наприклад, MC-CDMA, є розбиття вхідного сигналу на пакети, кожний з яких складається з  $N$  символів тривалістю  $T_0$ . При передачі сигналу формується  $N$  паралельних «вузьких» радіоканалів, кожний з яких передається на своїй несучій. Ефективність таких систем залежить від числа несучих  $N$ : чим воно більше, тим вище завадостійкість. У сучасних радіосистемах, заснованих, наприклад, на тому ж принципі MC-CDMA, сигнали формуються за допомогою кодової матриці Уолша-Адамара. В цьому випадку кожен біт потоку сигналів відображається на всі піднесучі, а кожна піднесуча використовує своє постійне в часі фазове зміщення, яке вибирається відповідно до заданого закону кодування. Закони кодування визначаються різними наборами частотних зрушень і кодових послідовностей, які дозволяють здійснити частотно-кодове розділення абонентів. Отже, ефективність систем з CDMA визначається множиною кодових комбінацій і множиною сигналів сформованих сигналів в максимальній мірі некорельованих одна з одною [1–4]. Т. ч., завдання кореляційного аналізу (КА) статистик бінарних сигналів є одним з актуальних завдань теорії радіозв'язку.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Результати досліджень залежностей кореляції між несучим та інформаційним сигналом та властивостей циклічності псевдовипадкових послідовностей бітів були представлені в роботах [5–6]. Для ряду статистик, які використовуються для перевірки гіпотез щодо спостережуваних багатовимірних величин, до яких відносяться вище зазначені бінарні сигнатури, відомо [3, 4, 7–8], що для законів, які відрізняються від нормального багатовимірного закону в достатньо широких межах, значущої зміни граничних розподілів статистик не відбувається. Емпіричні розподіли таких статистик добре описуються граничними законами, отриманими в КА в припущенні про нормальність спостережуваного вектора. Сфера їх коректного застосування, тобто застосування методів КА,

показана в [4, 9–11]. Т. ч., у різних додатках статистичного аналізу складних бінарних сигналів одну з ключових позицій займають завдання КА. В процесі рішення таких задач виявляються наявність і характер взаємозв'язку сигналів, взаємозалежності величин або залежності однієї величини від деякої групи впливаючих величин, обчислюються оцінки коефіцієнтів і матриць парної, часткової та множинної кореляції, перевіряються різні статистичні гіпотези щодо параметрів багатовимірного розподілу і коефіцієнтів кореляції. На підставі результатів такого КА можемо робити висновок про наявність і характер функціональної залежності або про перевагу для опису досліджуваного об'єкту регресійної моделі того або іншого вигляду. В даному випадку нас цікавлять методи КА сигналів для широко-смугових радіосистем [8]. Методи побудови регресійних моделей за умов малої виборки нечітких даних можуть бути знайдені, наприклад, в роботах [12–15].

### 3. Результати досліджень

На практиці передумови класичного КА виконуються далеко не завжди [8]. Тому виникає питання про справедливості висновків, що отримуються на підставі класичного апарату, при порушенні основного припущення про нормальність законів розподілення. У основі класичного апарату КА лежить припущення про приналежність спостережуваного випадкового вектора багатовимірному нормальному закону. Базуючись на цьому, отримані граничні розподіли статистик, що можуть використовуватися в КА при припущенні, що закони розподілення множин сигналів не є нормальними. Метою досліджень, які тут коротко обговорюються, було прагнення розібратися, що відбувається з розподілами різних статистик КА складних сигналів в ситуаціях, якщо спостережуваний багатовимірний закон відрізняється від нормального. Відповісти на поставлене питання, використовуючи чисто аналітичні методи, надзвичайно важко через нетривіальність виникаючих завдань. Тому в основу досліджень, що проводилися, була покладена методика комп'ютерного аналізу статистичних закономірностей. Методика добре зарекомендувала себе при дослідженні розподілів статистик

критеріїв згоди у разі перевірки простих і складних гіпотез та показана в [3, 4, 7–11], а при дослідженні статистичних властивостей різних оцінок – в [8, 16].

Згідно до наукових публікацій, наприклад, [1–3, 8], дослідження розподілів статистик кореляційного аналізу у разі багатовимірних законів, що відрізняються від нормального в достатньо широких межах, показали, що значущої зміни граничних розподілів статистик не відбувається, що істотно розширює сферу коректного застосування методів класичного КА в практичних додатках. Отримані результати показали, що розподіли відмічених статистик не торкаються завдань перевірки гіпотез про коваріаційні матриці багатовимірного закону, а це надало підставу вважати, що граничні розподіли статистик, використовуваних при перевірці таких гіпотез, істотно залежать від спостережуваного багатовимірного закону. Принаймні, моделювання розподілів аналогічних статистик в одновимірному випадку показало, що граничні розподіли цих статистик сильно залежать від спостережуваного закону, тоді як на розподілах статистик, обчислених при перевірці гіпотез інших виглядів при відомій і невідомій дисперсії, відхилення від нормальності спостережуваного одновимірного закону в порівнянні з попереднім випадком позначаються незначно. Як результат, отримано рішення завдання по моделюванню закону з математичним очікуванням і коваріаційною матрицею, дійсні значення яких уточнюються в процесі дослідження багатовимірного датчика (системи, сигнатури). Показано, що цього було достатньо для цілей дослідження.

В основних результатах дослідження, тема якого винесена у заголовок, демонструється розрахований вид функцій щільності при ідеальних умовах, тобто у разі моделювання двовимірних векторів при  $\lambda = 2$  (щільність нормального закону) і при  $\lambda = 10$ . У другому випадку отриманий плосковершинний розподіл (досліджуваний варіант) істотно відрізняється від нормального і цьому дається пояснення. Крім того, там же наводяться результати розрахунку розподілу статистики при нормальному законі; розподіл статистики  $T^2$  при багатовимірному законі; розподіли статистики  $z_0$  для парного коефіцієнта кореляції при багатовимірному законі; розподіл статистики  $z_0$  для часткового коефіцієнта кореляції при багатовимірному законі; функції гамма-розподілу. У вигляді таблиці показані усереднені по 50-ти змодельованих вибірках статистики значення параметрів моделі гамма-розподілу, що апроксимують розподіл статистики у разі багатовимірних законів величин, які моделювалися при різних значеннях параметра датчика (тобто сигнатури)  $\lambda$  ( $\lambda = 2$  відповідає нормальному закону). Розмірність модельованих багатовимірних величин –  $m = 3$ .

Результати також містять отримані значення параметрів у разі спостереження нормального закону, які сходяться до значень 2 та 1,5 відповідно. Це відповідає відомому  $\chi^2_3$ -розподілу. Показані розраховані функції розподілу статистики при законах, що моделювалися.

При перевірці аналогічної гіпотези при невідомій коваріаційній матриці граничним розподілом статистики, є  $F_{m,n-m}$ -розподіл. Даному випадку при розмірності вектора  $m = 3$  та обсязі вибірки  $n = 30$  відповідає бета-розподіл 2-го роду, щільність якого має

$$\text{вигляд } f(x) = \frac{\theta_2}{B(\theta_0, \theta_1)} \frac{[\theta_2(x - \mu)]^{\theta_0 - 1}}{[1 + \theta_2(x - \mu)]^{\theta_0 + \theta_1}} \text{ з масштабним}$$

параметром  $\theta_2 = \frac{n-m}{m}$  та параметрами форми  $\theta_0 = \frac{m}{2}$  і  $\theta_1 = \frac{n-m}{2}$ . Отримані результати усереднені по 50-ти

змодельованим вибіркам значення параметрів бета-розподілу (при  $m = 3$  і  $n = 0$ ) показують аналогічну картину збіжності.

Значення параметрів бета-розподілу у разі спостереження нормального закону сходяться до значень  $\theta_0 = 1,5$ ,  $\theta_1 = 13,5$  та  $\theta_2 = 9$ , що відповідає F-розподілу Фішера з числом мір свободи 3 і 27. Відмінність (або збіг) чотирьох бета-розподілів має такий же порядок, як у розподілів, які демонструються під час доповіді у вигляді малюнків.

#### 4. Висновки

Проведений аналіз літературних джерел та виконані дослідження з питання КА бінарних сигнатур при порушенні припущень про нормальність, дозволили встановити, що статистики мають в якості граничних вказані розподіли лише при спостереженні багатовимірного нормального закону. Як зміняться граничні розподіли статистик, наскільки будуть справедливі висновки, що формулюються на підставі рішення класичних задач кореляційного аналізу, якщо спостережуваний багатовимірний закон відрізняється від нормального, наперед сказати не можна.

Необхідне подальше продовження досліджень розподілів статистик кореляційного аналізу, які розпочаті у [8] з врахуванням отриманих результатів.

#### Література

1. Скопа, О. О. Обчислення аперіодичної автокореляційної функції та визначення критеріїв її якості по В. П. Іпатову [Текст] // Інформаційна безпека. — 2011. — № 1(5). — С. 146–153. — ISSN 2224-9613.
2. Скопа, О. О. Характеристики решітчастого кодування в системах з корелятивною обробкою сигналу (частина 1) [Текст] / О. О. Скопа, А. С. Ель-Дакдуки // Наукові праці Одеської національної академії зв'язку. — 2001. — № 2. — С. 87–90. — ISSN 0131-8675.
3. Dakdouki, Ali S. Downlink Processing Algorithms for Multi-Antenna Wireless Communications [Текст] / Ali S. Dakdouki, Victor L. Banket, Nikolai K. Mykhaylov, Alexander A. Skopa // IEEE Communication Magazine. — 2005. — Vol. 43, № 1. — pp. 122–127. — ISSN 0163-6804.
4. Грабовський, О. В. Регуляризація визначення показників якості функціонування ІВЗ з врахуванням нечіткості інформації [Текст] / О. В. Грабовський, С. Л. Волков, О. О. Скопа // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». — 2013. — № 26(999). — С. 169–174. — ISSN 2079-0775.
5. Политанский, Р. Л. Исследование зависимости корреляции между несущим и информационным сигналом в системах с динамическим хаосом [Текст] / Р. Л. Политанский, Л. Ф. Политанский, С. Д. Галюк, Н. Я. Кушнир // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 2/3(50). — С. 58–63.
6. Политанский, Р. Л. Исследование свойств цикличности псевдослучайных последовательностей битов [Текст] / Р. Л. Политанский, Л. Ф. Политанский, М. Я. Кушнир // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2009. — № 6/2(42). — С. 64–66.
7. Скопа, О. О. Перспективи використання ґратчастого кодування в інформаційних радіосистемах з корелятивною обробкою сигналу [Текст] / О. О. Скопа, Я. І. Торошанко, К. Б. Нікіфоренко // Збірник наукових праць ПІМЕ. — 2006. — № 35. — С. 49–55. — ISSN 1681-7710.

8. Волков, С. Л. Метод швидкого розрахунку взаємкореляційних властивостей числових послідовностей з використанням ізоморфних коефіцієнтів [Текст] / С. Л. Волков // Захист інформації. — 2009. — № 1(42). — С. 92–96. — ISSN 2221-5212.
9. Волков, С. Л. Оптимізація параметрів телекомунікаційної мережі методом статистичної регуляризації [Текст] / С. Л. Волков, Н. Ф. Казакова // Сучасна спеціальна техніка. — 2012. — № 1(28). — С. 54–60.
10. Скопа, А. А. Анализ методов исследования замираний [Текст] / А. А. Скопа, Н. М. Билык // Радиотехника. — 2007. — № 151. — С. 177–180. — ISSN 0485-8972.
11. Панфилов, В. И. Синтез помехоустойчивых модемов при совместном воздействии в канале аддитивных шумов и преднамеренных помех [Текст] / В. И. Панфилов, А. А. Скопа // Наукові записки УНДІЗ. — 2008. — № 6(8). — С. 72–80. — ISSN 1729-7583.
12. Seraya, O. V. Linear regression analysis of a small sample of fuzzy input data [Text] / O. V. Seraya, D. A. Demin // Journal of Automation and Information Sciences. — 2012. — № 44(7). — pp. 34–48.
13. Серая, О. В. Оценка представительности усеченных ортогональных подпланов плана полного факторного эксперимента [Текст] / О. В. Серая, Д. А. Демин // Системні дослідження та інформаційні технології. — Київ: Інститут системних досліджень. — № 3. — 2010. — С. 84–88.
14. Серая, О. В. Оценивание параметров уравнения регрессии в условиях малой выборки [Текст] / О. В. Серая, Д. А. Демин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2009. — № 6/4(42). — С. 14–19.
15. Демин, Д. А. Метод обработки малой выборки нечетких результатов ортогонализированного пассивного эксперимента [Текст] / Д. А. Демин, Т. И. Каткова // Вісник Інженерної Академії. — 2010. — № 2. — С. 234–237.
16. Панфилов, В. И. Синтез частотных цифровых приемников для защищенных радиосистем [Текст] / В. И. Панфилов, А. А. Скопа // Захист інформації. — 2009. — № 7(4). — С. 361–369. — ISSN 2221-5212.

#### ЭМПИРИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИСТИК КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ЗАЩИЩЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С СОМА

Для ряда статистик, используемых при проверке гипотез относительно наблюдаемых многомерных величин, показано, что в случае законов, которые отличаются от многомерного нормального закона в широких пределах, значимого изменения предельных распределений статистик не происходит, а их эмпирические распределения описываются предельными законами, полученными в классическом корреляционном анализе в предположении о нормальности наблюдаемого вектора.

**Ключевые слова:** распределение, статистика, корреляционный анализ, система, измерения, сигнатура, синтез.

*Волков Сергій Леонідович, кандидат технічних наук, доцент, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Україна, e-mail: greyw@ukr.net.*

*Волков Сергей Леонидович, кандидат технических наук, доцент, Одесская государственная академия технического регулирования и качества, Украина.*

*Volkov Sergiy, Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality, Ukraine, e-mail: greyw@ukr.net*

УДК 004.932.2-023.731(076.5)(075.8)

Фразе-Фразенко О. О.

## СИСТЕМА ТЕКСТУРНИХ ОЗНАК, ЗАСНОВАНИХ НА ВИМІРЮВАННІ ПРОСТОРОВИХ ЧАСТОТ

*Обґрунтовано інформативну значимість текстурних ознак на основі їх порівняння зі спектральними ознаками. Наведено короткий огляд текстурних ознак. Розглянуто проблему вибору інформативних ознак. Показано розподіл текстурних ознак по групах. Досліджено групу ознак, заснованих на вимірах просторових частот. Показано доцільність використання групи ознак, заснованих на використанні безперервного перетворення Фур'є та його дискретного аналога.*

**Ключові слова:** розпізнавання, зображення, текстура, ознака, просторова частота, автокореляція.

### 1. Вступ

Складна структура зображень, які обробляються у системах доступу, не дозволяє з достатньою ефективністю вирішувати завдання аналізу даних по спектральних ознаках [1]. Спектральні портрети об'єктів у зазначених системах у більшості випадків є нестационарними, що пояснюється їх залежністю від багатьох факторів, наприклад, вимог щодо точного положення та розмірів об'єкту розпізнавання. З метою підвищення ймовірності прийняття розв'язків, виникає необхідність щодо використання апріорної інформації про геометрію об'єкта зйомки, з одного боку, і контекстної інформації самих зображень — з іншої.

Знання контексту завдання, тобто обмежень, що накладаються на взаємні зв'язки між компонентами зображення, підвищує ефективність вирішальних правил [2, 3]. Найпростішою формою контекстної інформації для пікселя зображення є його околиця [3]. Зважаючи на це, у [4] доведено твердження про об'єктне вирішальне правило, коли аналіз фрагмента цілком є ефективнішим, ніж піксельне вирішальне правило. Іншою формою контекстної інформації служить поняття текстури, що є функціоналом набору пікселів фрагмента. Перевага текстурних ознак полягає в потенційних можливостях агрегування контекстної інформації з певними властивостями інваріантності під конкретне завдання розпізнавання образів.